

# Water and salt management in the Yanqi Basin, China

**Doctoral Thesis****Author(s):**

Brunner, Philip Andreas

**Publication date:**

2005

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005144054>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 16210

# **Water and Salt Management in the Yanqi Basin, China**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY,  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of Science

presented by

Philip Andreas Brunner

Dipl. Ing. ETH

born on July, 24 1975

citizen of Valendas, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Wolfgang Kinzelbach, examiner

Prof. Dr. Hannes Flühler, co-examiner

2005

---

## Abstract

In this thesis a hydrologic model of an agriculturally used basin in China is constructed. The project area, the Yanqi basin, is located in the Northwestern Chinese province of Xinjiang. The climate is continental and very dry. The annual amount of precipitation of around  $20 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  is negligible compared to the potential evapotranspiration of  $1400 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Nevertheless, the Yanqi basin has been one of the most productive agricultural areas in western China ever since irrigation was introduced in the second half of the 20th century. Irrigated water is drawn from the rivers flowing through the basin. At present, the irrigated area covers about  $1.2\cdot 10^5$  ha. As a consequence of this intensive agriculture, the productivity of the downstream systems is negatively affected.

The intensive irrigation has led to a series of environmental problems, the most important one being soil salinization. An excessive application of stream water without adequate drainage has raised the groundwater table during the last years, causing significantly increased groundwater evaporation. Salt stored for decades in the subsoil is dissolved as the groundwater table rises and accumulates at the soil surface as groundwater evaporates. Soil salinization leads to vegetation degradation as well as to a loss of arable farmland. In 2002, 60% of the entire irrigation area exhibited a groundwater table of less than 2 m below the surface and therefore is at risk of becoming saline. However, alternatives to today's practices exist. If a part of the irrigation water directly drawn from the rivers is substituted by river water pumped indirectly from the aquifer, the groundwater table will drop and the process of salinization will be slowed down. If the groundwater table drops sufficiently low, the process will be reversed by flushing down the salt.

The key parameter determining the long term sustainability is the ratio between river water and groundwater applied to irrigation. It is determined with a coupled model of groundwater and surface water flow. Such a model has been constructed and verified by using spatially distributed input data derived from remote sensing. Examples for spatially distributed parameters are a digital elevation model and the distribution of infiltration rates under the irrigated fields. The verification data consisted of observations of the groundwater table, the spatial distribution of phreatic evaporation and the distribution of salt in the project area as well as observed infiltration rates along the rivers. The model can reproduce the verification data satisfactorily. With this model, two scenarios have been developed and their influence on the water balance has been studied. The model predicts that the substitution of every  $\text{m}^3$  of river water by pumped groundwater will increase the available downstream resources at least by  $0.75 \text{ m}^3$ . The scenarios show that without lowering agricultural production sustainable solutions for the water allocation in the Yanqi basin and its downstream exist.

---

## Zusammenfassung

In diesem Projekt wurde ein hydrologisches Modell für ein landwirtschaftlich genutztes Becken in China erstellt. Das Projektgebiet liegt in der Provinz Xinjiang. Das Klima ist kontinental und die Niederschläge sind gering. Die jährlichen Niederschläge belaufen sich auf nur  $20 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  - eine vernachlässigbare Menge im Vergleich zu den  $1400 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  potentieller Verdunstung. Trotz des geringen Niederschlags gehört das Yanqi Becken zu den produktivsten landwirtschaftlich genutzten Flächen in Xinjiang. Dies wurde durch die Einführung der Bewässerung in den fünfziger Jahren möglich. Heute werden rund  $1.2 \cdot 10^5$  ha Land bewässert. Das Bewässerungswasser stammt von den Flüssen. Der verschwenderische Umgang mit den vorhandenen Wasserressourcen im Yanqi Becken führte zu einer Verringerung der verfügbaren Wasserressourcen im Flussunterlauf bei gleichzeitiger Erhöhung der Salzkonzentration.

Im Yanqi Becken selbst hat die intensive Bewässerung zu mehreren Umweltproblemen geführt, unter anderem auch zu einer Versalzung des Bodens. Die intensive Bewässerung ohne ein effizientes Drainage-Netz führte zu einer Anhebung des Grundwasserspiegels. Salz, das schon immer in der ungesättigten Zone gespeichert war, wurde durch den aufsteigenden Grundwasserspiegel gelöst und durch die direkte Verdunstung an die Bodenoberfläche transportiert. Die Bodenversalzung führt zu einer Verringerung der landwirtschaftlichen Produktivität und zu einer Reduktion der vorhandenen Bodenressourcen. Im Jahr 2002 war der Flurabstand auf 60% der landwirtschaftlich genutzten Flächen kleiner als 2 Meter. Diese Gebiete sind versalzungsgefährdet. Es existieren jedoch Alternativen zu der heutigen Bewässerungsstrategie. Falls ein Teil des Bewässerungswassers nicht direkt aus dem Fluss, sondern über der Aquifer indirekt aus dem Fluss entnommen wird, vergrößert sich der Flurabstand und die Versalzung wird verlangsamt. Wird der Grundwasserspiegel tief genug abgesenkt, kann die Versalzung der Wurzelzone durch das Auswaschen von Salz in den Grundwasserleiter sogar rückgängig gemacht werden.

Der entscheidende Parameter für eine langfristig nachhaltige Bewirtschaftung ist der Anteil des Grundwassers am Bewässerungswasser. Er wird mit einem gekoppelten hydrologischen Modell evaluiert, das sowohl das Grundwasser als auch die Oberflächengewässer simuliert. Das Modell wurde aufgrund räumlich verteilter Daten erstellt und verifiziert. Beispiele für räumlich verteilte Input-Daten sind ein digitales Geländemodell und die Versickerungsraten unter den bewässerten Flächen. Das Modell wurde mittels Bohrloch-Daten, der räumlichen Verteilung der direkten Verdunstung aus dem Grundwasserleiter, der Verteilung von Salz an der Erdoberfläche und den Infiltrationsraten entlang der Flüsse verifiziert. Es wurden zwei Szenarien entwickelt und ihre Einflüsse auf die Wasserbilanz der Region simuliert. Das Modell zeigt, dass die Substitution von jedem  $\text{m}^3$  Bewässerungswasser aus dem

Fluss durch Grundwasser die verfügbaren Ressourcen im Unterstrom um mindestens  $0.75 \text{ m}^3$  erhöht. Die Szenarien zeigen, dass eine nachhaltige Bewirtschaftung des Yanqi Beckens und seines Unterstroms ohne Produktionseinbussen möglich ist.